

**Measuring density of flowing fluid using at least two measuring points**

Veröffentlichungsnr. (Sek.) DE19619632  
Veröffentlichungsdatum : 1997-11-20  
Erfinder : KREMER FRIEDHELM (DE); SCHLEGEL MICHAEL (DE)  
Anmelder : S K I SCHLEGEL & KREMER INDUST (DE)  
Veröffentlichungsnummer : ☐ DE19619632  
Aktenzeichen:  
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE19961019632 19960515  
Prioritätsaktenzeichen:  
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE19961019632 19960515  
Klassifikationssymbol (IPC) : G01N9/32; G01P5/14; G01F1/32; G01F1/86  
Klassifikationssymbol (EC) : G01N9/32, G01P5/14  
Korrespondierende Patentschriften

---

**Bibliographische Daten**

---

The method for density measurement uses at least two measurement points (M1, M2) in the fluid, a first or a second pressure signal (DS1, DS2) is obtained. Each of which contains a first component, at least approximately linearly dependent on a static pressure (Ps) in the undisturbed fluid flow. The first pressure signal (DS1) at least, contains a second component, at least approximately linear dependent on a dynamic pressure (Pd) in the undisturbed fluid flow. The second component is additively linked with the associated first component. A first measurement signal function (F1) is produced by difference building between the first and second pressure signals (DS1, DS2). This function is allocated to the density ( $\rho$ ) and to the square of the undisturbed also in certain cases the determined flow speed (W) of the fluid. By the determining of the fluid movement a second measurement signal function (F2) is produced, at least approximately independent of the density of the fluid, which is allocated to the undisturbed also in certain cases the determined flow speed. By combination and in certain cases transformation of the first and second measurement signal functions (F1, F2) a measurement signal function (Fd) allocated to the fluid density is produced.

---

Daten aus der esp@cenet Datenbank - - I2





①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Off nl ungungsschrift  
⑩ DE 196 19 632 A 1

⑤1 Int. Cl.<sup>8</sup>:  
G 01 N 9/32  
G 01 P 5/14  
G 01 F 1/32  
G 01 F 1/86

②1 Aktenzeichen: 198 19 632.9  
②2 Anmeldetag: 15. 5. 96  
④3 Offenlegungstag: 20. 11. 97

DE 196 19 632 A 1

- ⑦1 Anmelder:  
S.K.I. Schlegel & Kremer Industrieautomation  
GmbH, 41238 Mönchengladbach, DE
- ⑦4 Vertreter:  
Fiedler, O., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 41238  
Mönchengladbach
- ⑦2 Erfinder:  
Kremer, Friedhelm, 41199 Mönchengladbach, DE;  
Schlegel, Michael, 71067 Sindelfingen, DE

- ⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

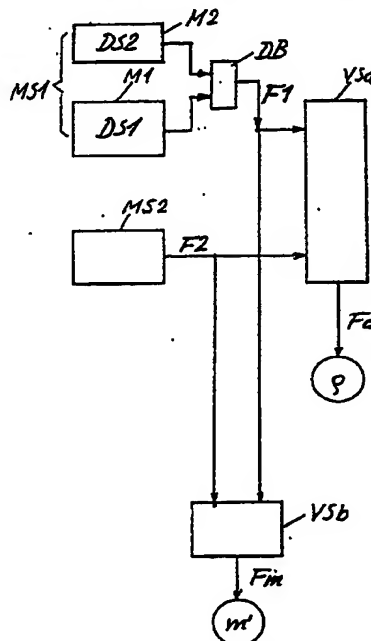
DE 38 16 623 C1  
DE 41 03 868 A1  
DE 39 35 552 A1  
DE 38 00 219 A1  
DE 36 24 093 A1  
DE 32 39 126 A1

DE 30 32 578 A1  
DE 30 03 599 A1  
DE 28 31 849 A1  
GB 21 03 371 A  
GB 20 85 597 A  
US 51 52 181  
US 50 60 522  
US 48 76 880  
US 45 23 477  
US 44 48 081  
US 40 59 744  
EP 03 06 193 A1

PAUTOV, G.A.: Mechanical Measurements., Dynamic  
Method Of Measuring The Flow Of Petroleum  
Products In Pipelines. In: Measurement  
Techniques 1993, H.6, S.671-673;

- ⑤4 Verfahren und Einrichtung zur Messung der Dichte und/oder des Massenstromes eines strömenden Fluids

- ⑤7 Erfindungsaufgabe: Vereinfachte Messung des Massenstromes bzw. der Dichte eines strömenden Fluids.  
Erfindungslösung: An mindestens zwei Meßstellen (M1, M2) im Fluid wird ein erstes bzw. zweites Drucksignal (DS1, DS2) gewonnen, deren jedes eine vom statischen Druck in der ungestörten Fluidströmung wenigstens annähernd linear abhängige erste Komponente enthält. Das erste Drucksignal (DS1) enthält eine vom dynamischen Druck (Pd) in der ungestörten Fluidströmung linear abhängige zweite Komponente, die mit der zugehörigen ersten Komponente additiv verknüpft ist. Durch Differenzbildung wird aus dem ersten und zweiten Drucksignal eine erste Meßsignalfunktion (F1) erzeugt, die der Dichte und dem Quadrat der ungestörten sowie gegebenenfalls gemittelten Strömungsgeschwindigkeit des Fluids zugeordnet ist. Durch Erfassung der Fluidbewegung wird eine von der Dichte des Fluids wenigstens annähernd unabhängige zweite Meßsignalfunktion (F2) erzeugt, die der ungestörten sowie gegebenenfalls gemittelten Strömungsgeschwindigkeit des Fluids zugeordnet ist. Durch Kombination und gegebenenfalls Umformung der ersten und zweiten Meßsignalfunktion wird eine der Fluidsdichte bzw. dem Massenstrom zugeordnete Meßsignalfunktion (Fd bzw. Fm) erzeugt.



DE 196 19 632 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft Verfahren zur Messung der Dichte und/oder des Massenstroms eines z. B. durch einen Meßquerschnitt strömenden Fluids. Zum Erfindungsgegenstand gehören auch Einrichtungen zur Durchführung solcher Messungen.

Beim vorliegenden Gegenstand handelt es sich der Gattung nach um die Ermittlung der Fluid-Strömungsgeschwindigkeit durch Druckmessungen an der Oberfläche von in der Strömung angeordneten Sondenkörpern. Bekanntermaßen wird z. B. der dynamische Druck als quadratisches Maß der Strömungsgeschwindigkeit erfaßt, multiplikativ verknüpft mit der Fluidichte. Zur Messung der geometrischen Strömungsgeschwindigkeit wie auch des tatsächlichen Massenstromes als Produkt aus Strömungsgeschwindigkeit (bzw. deren relevantem Mittelwert), Meßquerschnittsfläche und Fluidichte bedarf es daher einer zusätzlichen Ermittlung der Dichte und — bei relevanten Veränderungen der Dichte im Betrieb — einer laufenden Überwachung dieser Einflußgröße. Im übrigen ist die Ermittlung und gegebenenfalls Überwachung der Dichte eines z. B. in Rohrleitungen strömenden Fluids für manche Anwendungen in der Prozeßtechnik auch unabhängig von der Strömungsmessung von Interesse.

Aufgabe der Erfindung ist daher die Schaffung von Verfahren und Einrichtungen, die mit Bezug auf die vorgenannten Gesichtspunkte einen Fortschritt ermöglichen. Die erfindungsgemäßen Lösungen dieser Aufgabe sind bestimmt hinsichtlich des Verfahrens zur Dichtemessung im strömenden Fluid durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 und hinsichtlich des Verfahrens zur Messung des Massenstroms durch die Merkmale des Patentanspruchs 3. Für die erfindungsgemäßen Lösungen hinsichtlich der den entsprechenden Aufgaben dienenden Meßeinrichtungen findet sich die Bestimmung in den Merkmalen der Patentsprüche 9 bzw. 10.

Zur Erläuterung der Erfindung folgende Vorbemerkung:

Bei Messungen der gattungsgemäßen Art sind grundsätzlich die vom Sondenkörper induzierten Störungen des Strömungsfeldes im Nahbereich dieses Körpers in Betracht zu ziehen. Eine weitgehende Annäherung an den Idealzustand der Störungsfreiheit ist bei der bekannten Prandtl'schen Kombination des Pitotrohres zur Gesamtdruckmessung mit dem sogenannten Hakenrohr zur Messung des statischen Drucks gegeben. Idealisierend wird hier an der ersten Meßstelle im Staupunkt ein lokaler statischer Druck gemessen, der aus zwei Komponenten besteht, nämlich dem auch hier wirkenden statischen Druck der ungestörten Strömung und einer Staupunktkomponente (dynamischer Druck) infolge der sich in Strömungsrichtung erstreckenden, bis zum Erreichen des Staupunktes auf Stillstand abgebremsten (querschnittsmäßig differentiellen) Fluidsäule. Der lokale statische Druck entspricht daher hier dem Gesamtdruck der ungestörten Strömung. Außerdem wird der lokale Druck an einer zur ungestörten Strömung parallelen Meßfläche erfaßt, der idealisierend (unter Vernachlässigung der Einschnürung des Strömungsquerschnitts durch das Sondenrohr) dem statischen Druck in der ungestörten Strömung entspricht.

Die Erfindungsgedanken seien zunächst unter Bezugnahme auf das bekannte Meßprinzip der letztgenannten Art erläutert, und zwar für beide Erfindungsvarianten (Dichte- und Massenstrom-Messung). In beiden Fällen wird durch Differenzbildung an zwei Drucksignalen

DS1, DS2 eine Meßsignalfunktion  $F1$  der Dichte  $\rho$  des Fluids und dessen Strömungsgeschwindigkeit  $w$  gebildet.

Außerdem wird durch unmittelbare Erfassung der Fluidbewegung eine zweite Meßsignalfunktion  $F2$  bereitgestellt, die von der Dichte des Fluids wenigstens annähernd unabhängig die Strömungsgeschwindigkeit  $w$  darstellt. Damit sind die grundsätzlich notwendigen Informationen vorhanden, um die Dichte des strömenden Fluids zu bestimmen. In einer bevorzugten Ausführung wird die erste Meßsignalfunktion linear multiplikativ in  $\rho$  und  $w^2$  gebildet, und zwar z. B. speziell in der Form  $F1 = K1 \cdot \rho \cdot w^2$  mit einem justierbaren Kalibrierfaktor  $K1$ . In ähnlicher Spezialisierung wird die zweite Meßsignalfunktion linear in  $w$  gebildet, und zwar bevorzugt in der Form  $F2 = K2 \cdot w$ , wiederum mit einem justierbaren Kalibrierfaktor  $K2$ . Grundsätzlich kommen auch andere Bildungsformen der Meßsignalfunktionen in Betracht, die dann in geeigneter Weise weiterzuverarbeiten sind.

Jedenfalls trennt sich nun die Weiterverarbeitung der Meßsignale bzw. Meßsignalfunktionen für die Dichtemessung einerseits und die Massenstrom-Messung andererseits. Im Beispiel der vorgenannten Spezialisierungen kann diese Weiterverarbeitung wie folgt geschehen:

Für die Dichtemessung ergibt der Quotient  $F1/F2^2$  eine Eliminierung von  $w$  bzw.  $w^2$  und damit unmittelbar  $\rho = (F1/F2^2) \cdot (K2^2/K1)$ .

Für die Massenstrom-Messung enthält der Kalibrierfaktor  $K1$  einen Teilfaktor entsprechend der relevanten Meßquerschnittsfläche  $Q$ , also  $K1 = K1' \cdot Q$  und  $F1 = K1' \cdot Q \cdot \rho \cdot w^2$ . Unter Berücksichtigung des Massenstromes als  $m' = Q \cdot \rho \cdot w$  ergibt sich  $(F1/F2) = (K1' \cdot Q \cdot \rho \cdot w \cdot w) / (K2 \cdot w) = (K1' \cdot m') / K2$  und  $= (K2/K1') \cdot (F1/F2)$ .

Bei anderen bekannten Meßsystemen wird zwar wiederum ein Drucksignal an einem vorderen Staupunkt einer Strömungssonde als erster Meßstelle abgenommen, so daß auch hier von einem ersten Drucksignal der Struktur  $DS1 = P_s + K1 \cdot \rho \cdot w^2$  ausgegangen werden kann. Anstelle einer zweiten Meßstelle an einer strömungsparallelen Sondenfläche wird jedoch eine zweite Meßstelle im Bereich des hinteren Strömungsschattens der Sonde angeordnet. Infolge Strömungsablösung und Wirbelbildung, z. T. sogar infolge ausgesprochener Abrißkanten zwischen erster und zweiter Meßstelle, kann hier von einer Gültigkeit des Bernoulli-Gesetzes mit auch nur annähernd gleichem Gesamtdruck für beide Meßstellen entsprechend der ungestörten Strömung keine Rede sein. Im Wirbelbereich selbst sind die relevanten Drücke kaum vorausdefinierbar, aber selbst für eine Anordnung der zweiten Meßstelle in einem lokal strömungsfreien Bereich im Strömungsschatten ("wake") ist der dort herrschende Druck zwar ein statischer, wobei aber eine Übereinstimmung mit demjenigen der ungestörten Strömung nicht vorausgesetzt werden kann. Eine Differenzbildung der beiden Drucksignale kann also nicht ohne weiteres zu einem Meßsignal entsprechend dem dynamischen Druck der ungestörten Strömung führen. Dies gilt bekanntermaßen (siehe z. B. S.F. Hoerner, "FLUID-DYNAMIC DRAG", Eigenverlag des Autors, 1964, S. 1-2, 3-3) bereits für quer umströmte Kreiszylinder, also Körper ohne ausgeprägte Abrißkanten, um so mehr also für bekannte Querstromsonden mit z. B. rautenartigem Rohraußenprofil und zweiter Meßstelle im Bereich des Profilschattens im Strömungsschatten.

Es hat sich aber im Laufe der Entwicklung gezeigt, daß gleichwohl relativ einfache, lineare Beziehungen zwischen den Meßdrücken an verschiedenen Stellen im Bereich des Strömungsschattens dieser Sonden und den relevanten Drücken in der ungestörten Strömung unterhalb gewisser Reynolds-Grenzen als meßtechnisch ausreichend genau und reproduzierbar gültig angenommen werden können. Eine hierfür sinnvolle Kenngröße (siehe die vorgenannte Literaturstelle) lautet  $C_p = (P_2 - P_s)/P_d$ , mit  $P_2$  als zweitem Drucksignal (hier DS2) sowie  $P_s$  und  $P_d$  als statischem bzw. dynamischem Druck der ungestörten Strömung. Diese Kenngröße kann in den genannten Grenzen für ein und dieselbe Meßstelle im Strömungsschatten über gewisse Bereiche der ungestörten Strömungsgeschwindigkeit als annähernd konstant zugrundegelegt werden. Dies führt im vorliegenden Zusammenhang zu einem zweiten Drucksignal der Struktur  $DS_2 = P_s + C_p \cdot \rho \cdot W^2$ . Dabei hat  $C_p$  im Strömungsschatten typischerweise einen von der Meßstellenlage abhängigen, negativen Wert, der durch Vergleichs- und Kalibriermessungen, gegebenenfalls unter Zuhilfenahme von Bezugs-Meßeinrichtungen für Druck bzw. Strömungsgeschwindigkeit, ermittelt werden kann. Dadurch wird die vorstehend angezogene Differenzbildung zur Gewinnung eines Meßsignals für den ungestörten dynamischen Druck wieder anwendbar:  $DS_1 - DS_2 = K \cdot (1 - C_p) \cdot \rho \cdot W^2$ .

Daraus ergibt sich als Weiterbildung der vorliegenden Erfindungsgedanken, daß grundsätzlich auch eine Anordnung der ersten Meßstelle abweichend vom Staupunkt für Gewinnung einer ersten Meßsignalfunktion zwecks Kombination mit einer dichteunabhängigen zweiten Geschwindigkeits-Meßsignalfunktion anwendbar ist. Dies kann im Hinblick auf bestimmte meß- und anwendungstechnische Gegebenheiten von Vorteil sein. Es kommt also ein beachtlicher Bereich der Anordnung für Meßstellenpaare oder andere Meßstellenmehrheiten in Betracht, sofern die zugehörigen Werte von  $C_p$  genügend reproduzierbar und mit Rücksicht auf die Differenzbildung genügend unterschiedlich sind. Es ergibt sich somit die allgemeine Struktur

$$DS_1 - DS_2 = (K_1 - K_{1a}) \cdot \rho \cdot W^2.$$

Die Erfindung wird weiter anhand der in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiele erläutert. Hierin zeigt:

Fig. 1 ein Blockschaltbild einer ersten Meßeinrichtung nach der Erfindung,

Fig. 2 ein Blockschaltbild einer zweiten Meßeinrichtung nach der Erfindung, mit schematischer Schnittdarstellung einer Querstromsonde in einer Fluidleitung,

Fig. 3 eine schematische Schnittdarstellung eines ersten Beispiels und

Fig. 4 eines zweiten Beispiels eines kinematischen Geschwindigkeits-Meßwertgebers für die erfindungsgemäße Dichte- bzw. Massenstromermittlung,

Fig. 5 den Meßrohrquerschnitt einer Querstromsonde mit kinematischem Geschwindigkeits-Meßwertgeber für die erfindungsgemäße Meßaufgaben und

Fig. 6 eine erfindungsgemäße Weiterbildung mit an ein Druckmeßsystem angeschlossenem bzw. in dieses integrierten Wirbelfrequenzdetektor zur Erfassung der Strömungsgeschwindigkeit.

Gemäß Fig. 1 ist ein erstes Meßsystem MS1, z. B. ein solches Prandtl'scher Art vorgesehen, das eine erste Meßstelle M1 zur Erzeugung eines dem Gesamtdruck  $P_g$  der ungestörten Fluidströmung entsprechenden dar-

stellenden ersten Drucksignals  $DS_1$  sowie eine zweite Meßstelle M2 zur Erzeugung eines zweiten Drucksignals  $DS_2$  umfaßt, welches letzteres eine wenigstens annähernd lineare Funktion des statischen Druckes  $P_s$  in der ungestörten Fluidströmung liefert. Ferner ist ein mit der ersten und zweiten Meßstelle verbundener Differenzbildner DB zur Erzeugung einer den dynamischen Druck  $P_d$  in der ungestörten Fluidströmung darstellenden Meßsignalfunktion F1 vorgesehen. Weiter findet sich ein zweites Meßsystem MS2 mit einem (hier nicht näher dargestellten) kinematischen Meßwertgeber zur Erzeugung einer die geometrische Strömungsgeschwindigkeit  $W$  im Meßquerschnitt MQ wenigstens annähernd unabhängig von der Fluidichte darstellenden Meßsignalfunktion F2. Die Ausgänge des ersten und zweiten Meßsystems MS1, MS2 sind an eine Verarbeitungsschaltung VSA angeschlossen, die eine Quotientenbildung aus einer dem dynamischen Druck  $P_d$  zugeordneten Größe und dem Quadrat einer der Strömungsgeschwindigkeit  $W$  zugeordneten Größe ausführt. Damit ergibt sich am Ausgang der Schaltung VSA eine Meßsignalfunktion  $F_d$  entsprechend der Fluidichte  $\rho$ . Außerdem sind die Ausgänge des ersten und zweiten Meßsystems MS1, MS2 an eine weitere Meßsignal-Verarbeitungsschaltung VSB angeschlossen, die eine Quotientenbildung aus einer dem dynamischen Druck  $P_d$  zugeordneten Größe und einer der Strömungsgeschwindigkeit  $W$  zugeordneten Größe ausführt und somit eine Meßsignalfunktion  $F_m$  für den Massenstrom  $m'$  der Fluidströmung liefert. Bevorzugt wird erfindungsgemäß ein Meßsystem MS2 eingesetzt, das eine Meßsignalfunktion F2 mit wenigstens annähernd linearer Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit  $W$  liefert, und zwar insbesondere ein solches der Struktur  $F_2 = K_2 \cdot W$  mit  $K_2$  als gegebenenfalls justierbarem Kalibrierfaktor. Weiterhin kann durch Einbeziehung eines der relevanten Querschnittsfläche bzw. dem Flächen-Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeit zugeordneten Kalibrierfaktors in die Meßsignalumformung eine den Gesamt-Massenstrom darstellende Meßsignalfunktion  $F_m$  erzeugt werden.

Bei der Ausführung nach Fig. 2 ist im Meßquerschnitt MQ einer Fluidleitung FL ein Meßsystem MS1 mit einem rohrförmigen Querstrom-Meßwertgeber QSM angeordnet. Dieser umfaßt eine Meßstelle M1 für den Gesamtdruck  $P_g$  der ungestörten Fluidströmung in Form eines ersten Drucksignals der Struktur  $DS_1 = P_s + K_1 \cdot \rho \cdot W^2$ . Sodann ist eine im Strömungsschatten angeordnete Meßstelle M2 für die Erzeugung eines zweiten Drucksignals der Struktur  $DS_2 = P_s + K_{1a} \cdot \rho \cdot W^2$  vorgesehen. Dieses Drucksignal entspricht zunächst nicht den Werten der ungestörten Strömung, sondern einem durch Strömungsablösung und Wirbelbildung von der ungestörten Strömung entkoppelten Meßdruck  $P_2$ . Jedoch werden  $K_1$  und  $K_{1a}$  bzw. deren Quotient als Maß für den unterschiedlichen Einfluß des ungestörten dynamischen Fluiddruckes auf beide Meßstellen als wenigstens annähernd konstante, d. h. von der Strömungsgeschwindigkeit unabhängige Faktoren durch Vergleichs- bzw. Kalibriermessungen bestimmt. Anschließend erfolgt wieder eine Differenzbildung in der entsprechenden Funktionseinheit DB zur Erzeugung einer Meßsignalfunktion F1. Ein in diesem Beispiel gesondert im ungestörten Strömungsbereich angeordnetes Meßsystem MS2, das von an sich bekannter Art sein kann, liefert eine der Strömungsgeschwindigkeit  $W$  zugeordnete Meßsignalfunktion F2, die zusammen mit der Meßsignalfunktion F1 über ein  $n$  Verstärker V sowie Verar-

beitungsschaltungen VSA und VSB zur Bildung der gewünschten Ausgangs-Meßsignalfunktionen  $F_d$  und  $F_m$  zugeführt wird.

Als einfachstes Beispiel eines an sich bekannten Meßsystems für die Erzeugung einer von der Fluidichte wenigstens annähernd unabhängigen Meßsignalfunktion für die Strömungsgeschwindigkeit  $W$  ist in Fig. 3 ein Turbinen-Tachometer MK1 angedeutet. Bevorzugt wird jedoch gemäß Fig. 4 als kinematischer Meßwertgeber MK2 des zweiten Meßsystems MS2 ein Wirbelstraßen-Frequenzdetektor mit in der Fluidströmung vorgeordnetem Wirbelerzeuger WE eingesetzt, letzterer hier in Form einer Prallplatte mit Abrißkanten AK. Als Beispiel ist hier ein Meßwertgeber mit Piezoelement PE angedeutet, das über Membranen M mit den Druckschwankungen der Wirbelstraße gekoppelt ist und durch einen Frequenzdetektor FD ein der Strömungsgeschwindigkeit entsprechendes Frequenzsignal liefert.

Fig. 5 zeigt als bevorzugte Ausführung ein Meßsystem mit einem rohrförmigen Querstrom-Meßwertgeber QSM. Dieser umfaßt Meßkammern MKAg bzw. MKAs mit zugehörigen Meßstellen M1 bzw. M2, die nebeneinanderliegend in Rohrlängsrichtung angeordnet sind und dem Gesamtdruck  $P_g$  bzw. einem Meßdruck  $P_2$  (und damit gemäß obigen Erläuterungen indirekt auch dem statischen Druck  $P_s$  der ungestörten Strömung) zugeordnete sind. Der Sondenkörper hat quer zur Strömungsrichtung diametral angeordnete Abrißkanten AK, so daß sich entsprechende Wirbelstraßen ergeben. Ein Wirbelstraßen-Frequenzdetektor FD ist an einer Meßstelle M3 im Wirbelbereich hinter einer Abrißkante AK angeordnet.

In besonders vorteilhafter Weise ist hier der Wirbelstraßen-Frequenzdetektor in den Rohrkörper des Querstrom-Meßwertgebers QSM integriert angeordnet.

Bei der Ausführung nach Fig. 6 ist wieder ein Druckmeßsystem nach Art von Fig. 2 eingesetzt, jedoch mit einem Geschwindigkeitsmeßsystem MS2b, das keiner besonderen Einrichtungen im Bereich der Fluidströmung bedarf. Hier umfaßt das Meßsystem MS2b einen an eine abströmungsseitige Druckmeßleitung L2 angeschlossenen, trägheitsarm wirkenden Drucksignalwandler DSW, z. B. einen piezoelektrischen Wandler, der die im Bereich der abströmungsseitigen Meßstelle M2 praktisch unvermeidlich auftretenden Wirbeldruckschwankungen im Fluid in ein entsprechendes Wechsellspannungssignal umsetzt. Ein nachgeordneter Frequenzdetektor FD liefert wieder die verlangte Meßsignalfunktion  $F_2$ .

Im Beispiel ist ein Differenzdruck-Meßsignalwandler DSW vorgesehen, der auch an die zuströmungsseitige Druckmeßleitung L1 von der Meßstelle M1 angeschlossen ist. Dies kann der Kompensation von eventuell bereits in dem der Meßstelle zuströmenden Fluid vorhandenen und gegebenenfalls nicht ausreichend genau oder konstant zur Strömungsgeschwindigkeit korrelierten Wirbeldruckschwankungen dienen. Im übrigen ist es erfindungsgemäß besonders vorteilhaft, einen gegebenenfalls im Differenzdruck-Meßsystem ohnehin vorhandenen, ausreichend trägheitsarmen Drucksignalwandler auch für die genannte Funktionsbildung zu verwenden. Erfindungsgemäß bietet sich jedenfalls die Möglichkeit einer in ein Druckmeßsystem integrierten Einrichtung zur Wirbelfrequenz-Geschwindigkeitsmessung. Dies kann zu einer wesentlichen Vereinfachung und Verringerung der Gesamteinrichtung ausgenutzt werden.

# Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung der Dichte eines strömenden Fluids, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

- a) An mindestens zwei Meßstellen (M1, M2) im Fluid wird ein erstes bzw. zweites Drucksignal (DS1, DS2) gewonnen, deren jedes eine vom statischen Druck ( $P_s$ ) in der ungestörten Fluidströmung wenigstens annähernd linear abhängige erste Komponente enthält;
- b) mindestens das erste Drucksignal (DS1) enthält eine vom dynamischen Druck ( $P_d$ ) in der ungestörten Fluidströmung wenigstens annähernd linear abhängige zweite Komponente, die mit der zugehörigen ersten Komponente additiv verknüpft ist;
- c) durch Differenzbildung wird aus dem ersten und zweiten Drucksignal (DS1, DS2) eine erste Meßsignalfunktion ( $F_1$ ) erzeugt, die der Dichte ( $\rho$ ) und dem Quadrat der ungestörten sowie gegebenenfalls gemittelten Strömungsgeschwindigkeit ( $W$ ) des Fluids zugeordnet ist;
- d) durch Erfassung der Fluidbewegung wird eine von der Dichte des Fluids wenigstens annähernd unabhängige zweite Meßsignalfunktion ( $F_2$ ) erzeugt, die der ungestörten sowie gegebenenfalls gemittelten Strömungsgeschwindigkeit ( $W$ ) des Fluids zugeordnet ist;
- e) durch Kombination und gegebenenfalls Umformung der ersten und zweiten Meßsignalfunktion ( $F_1, F_2$ ) wird eine der Fluidichte zugeordnete Meßsignalfunktion ( $F_d$ ) erzeugt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Fluidichte-Meßsignalfunktion ( $F_d$ ) durch Quotientenbildung aus einer dem dynamischen Druck ( $P_d$ ) zugeordneten Größe und dem Quadrat einer der Strömungsgeschwindigkeit ( $W$ ) zugeordneten Größe erzeugt wird.

3. Verfahren zur Messung des Massenstroms eines durch einen Meßquerschnitt strömenden Fluids, insbesondere auch Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

- a) An mindestens zwei Meßstellen (M1, M2) im Fluid wird ein erstes bzw. zweites Drucksignal (DS1, DS2) gewonnen, deren jedes eine vom statischen Druck ( $P_s$ ) in der ungestörten Fluidströmung wenigstens annähernd linear abhängige erste Komponente enthält;
- b) mindestens das erste Drucksignal (DS1) enthält eine vom dynamischen Druck ( $P_d$ ) in der ungestörten Fluidströmung wenigstens annähernd linear abhängige zweite Komponente, die mit der zugehörigen ersten Komponente additiv verknüpft ist;
- c) durch Differenzbildung wird aus dem ersten und zweiten Drucksignal (DS1, DS2) eine erste Meßsignalfunktion ( $F_1$ ) erzeugt, die der Dichte ( $\rho$ ) und dem Quadrat der ungestörten sowie gegebenenfalls gemittelten Strömungsgeschwindigkeit ( $W$ ) des Fluids zugeordnet ist;
- d) durch Erfassung der Fluidbewegung wird eine von der Dichte des Fluids wenigstens annähernd unabhängige zweite Meßsignalfunktion ( $F_2$ ) erzeugt, die der ungestörten sowie gegebenenfalls gemittelten Strömungsgeschwindigkeit ( $W$ ) des Fluids zugeordnet ist;
- e) durch Kombination und gegebenenfalls

Umformung der ersten und zweiten Meßsignalfunktion (F1, F2) wird eine Massenstrom-Meßsignalfunktion (Fm) erzeugt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine Massenstrom-Meßsignalfunktion (Fm) durch Quotientenbildung aus einer dem dynamischen Druck (Pd) zugeordneten Größe und einer der Strömungsgeschwindigkeit (W) zugeordneten Größe erzeugt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß durch Einbeziehung eines der relevanten Querschnittsfläche bzw. dem Flächen-Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeit zugeordneten Kalibrierfaktors in die Meßsignalumformung eine den Gesamt-Massenstrom darstellende Meßsignalfunktion (Fm) erzeugt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

a) an der ersten und zweiten Meßstelle (M1, M2) werden Drucksignale der Struktur  $DS1 = Ps + K1 \cdot \rho \cdot W^2$  bzw.  $DS2 = Ps + K1a \cdot \rho \cdot W^2$  gebildet, mit Ps als statischem Druck in der ungestörten Fluidströmung,  $\rho$  als Fluidichte und W als ungestörte sowie gegebenenfalls gemittelte Strömungsgeschwindigkeit des Fluids;

b) K1 und K1a bzw. deren Quotient als Maß für den unterschiedlichen Einfluß des ungestörten dynamischen Fluiddruckes auf beide Meßstellen werden als von unterschiedlichen Werten der ungestörten sowie gegebenenfalls gemittelten Strömungsgeschwindigkeit des Fluids wenigstens annähernd unabhängige Faktoren durch Vergleichs- bzw. Kalibrier-messungen bestimmt.

c) durch Differenzbildung wird aus dem ersten und zweiten Drucksignal (DS1, DS2) eine vom statischen Druck in der ungestörten Fluidströmung wenigstens annähernd unabhängige erste Meßsignalfunktion (F1) erzeugt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, gekennzeichnet durch die Erzeugung einer zweiten Meßsignalfunktion (F2) mit wenigstens annähernd linearer Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit (W).

8. Verfahren nach Anspruch 7, gekennzeichnet durch die Erzeugung einer zweiten Meßsignalfunktion (F2) der Struktur  $F2 = K2 \cdot W$  mit K2 als gegebenenfalls justierbarer Kalibrierfaktor und W als Strömungsgeschwindigkeit.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine zweite Meßsignalfunktion (F2) durch Erfassung von durch Wirbel in der Fluidströmung bedingten, periodischen Druckschwankungen in einem Druckmeßsystem (MS2) gebildet wird.

10. Einrichtung zur Messung der Dichte eines strömenden Fluids, insbesondere für ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

a) es ist ein erstes Meßsystem (MS1) Prandtl'scher Art vorgesehen, umfassend mindestens eine erste Meßstelle (M1) zur Erzeugung eines dem Gesamtdruck (Pg) der ungestörten Fluidströmung entsprechenden ersten Drucksignals (DS1), mindestens eine zweite Meßstelle (M2) zur Erzeugung eines zweiten Drucksignals (DS2), das eine wenigstens annähernd lineare Funktion des statischen Druckes

(Ps) in der ungestörten Fluidströmung darstellt, sowie einen mit der ersten und zweiten Meßstelle verbundenen Differenzbildner (DB) zur Erzeugung einer den dynamischen Druck (Pd) darstellenden Meßsignalfunktion (F1);

b) es ist ein zweites Meßsystem (MS2) mit mindestens einem kinematischen Meßwertgeber (MK1; MK2) zur Erzeugung einer die geometrische Strömungsgeschwindigkeit (W) im Meßquerschnitt (MQ) wenigstens annähernd unabhängig von der Fluidichte darstellenden Meßsignalfunktion (F2) vorgesehen;

c) die Ausgänge des ersten und zweiten Meßsystems (MS1, MS2) sind an eine Schaltung (Vsa) angeschlossen, die eine Quotientenbildung aus dem dynamischen Druck (Pd) und dem Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit (W) ausführt.

11. Einrichtung zur Messung des Massenstroms eines strömenden Fluids, insbesondere nach Anspruch 10 und insbesondere für ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

a) es ist ein erstes Meßsystem (MS1) Prandtl'scher Art vorgesehen, umfassend mindestens eine erste Meßstelle (M1) zur Erzeugung eines dem Gesamtdruck (Pg) der ungestörten Fluidströmung entsprechenden ersten Drucksignals (DS1), mindestens eine zweite Meßstelle (M2) zur Erzeugung eines zweiten Drucksignals (DS2), das eine wenigstens annähernd lineare Funktion des statischen Druckes (Ps) in der ungestörten Fluidströmung darstellt, sowie einen mit der ersten und zweiten Meßstelle verbundenen Differenzbildner (DB) zur Erzeugung einer den dynamischen Druck (Pd) darstellenden Meßsignalfunktion (F1);

b) es ist ein zweites Meßsystem (MS2) mit mindestens einem kinematischen Meßwertgeber (MK1; MK2) zur Erzeugung einer die geometrische Strömungsgeschwindigkeit (W) im Meßquerschnitt (MQ) wenigstens annähernd unabhängig von der Fluidichte darstellenden Meßsignalfunktion (F2) vorgesehen;

c) die Ausgänge des ersten und zweiten Meßsystems (MS1, MS2) sind an eine Meßsignal-Verarbeitungsschaltung (Vsb) angeschlossen, die eine Quotientenbildung aus einer dem dynamischen Druck (Pd) zugeordneten Größe und einer der Strömungsgeschwindigkeit (W) zugeordneten Größe ausführt.

12. Einrichtung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß der kinematische Meßwertgeber (MK2) des zweiten Meßsystems (MS2) mindestens einen Wirbelstraßen-Frequenzdetektor (FD) mit in der Fluidströmung vorgeordnetem Wirbelerzeuger (WE) aufweist.

13. Einrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Meßsystem (MS1) einen röhrenförmigen Querstrom-Meßwertgeber (QSM) mit sich nebeneinanderliegend in Rohrlängsrichtung erstreckenden, dem Gesamtdruck (Pg) bzw. dem statischen Druck (Ps) zugeordneten Meßkammern (MKAg, MKAs) sowie mit im Rohrquerschnitt quer zur Strömungsrichtung diametral angeordneten Abrißkanten (AK) aufweist und daß mindestens ein Wirbelstraßen-Frequenzdetektor (FD) im Wirbelbereich hinter einer Abrißkante

(AK) angeordnet ist.

14. Einrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Wirbelstraßen-Frequenzdetektor mindestens teilweise in den Rohrkörper des Querstrom-Meßwertgebers (QSM) integriert angeordnet ist. 5

15. Einrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 14, gekennzeichnet durch mindestens einen an ein Druckmeßsystem angeschlossenen bzw. in dieses integrierten Frequenzdetektor (FD) zur Erfassung 10 einer von der Strömungsgeschwindigkeit (W) im Fluid abhängigen Wirbelfrequenz.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65



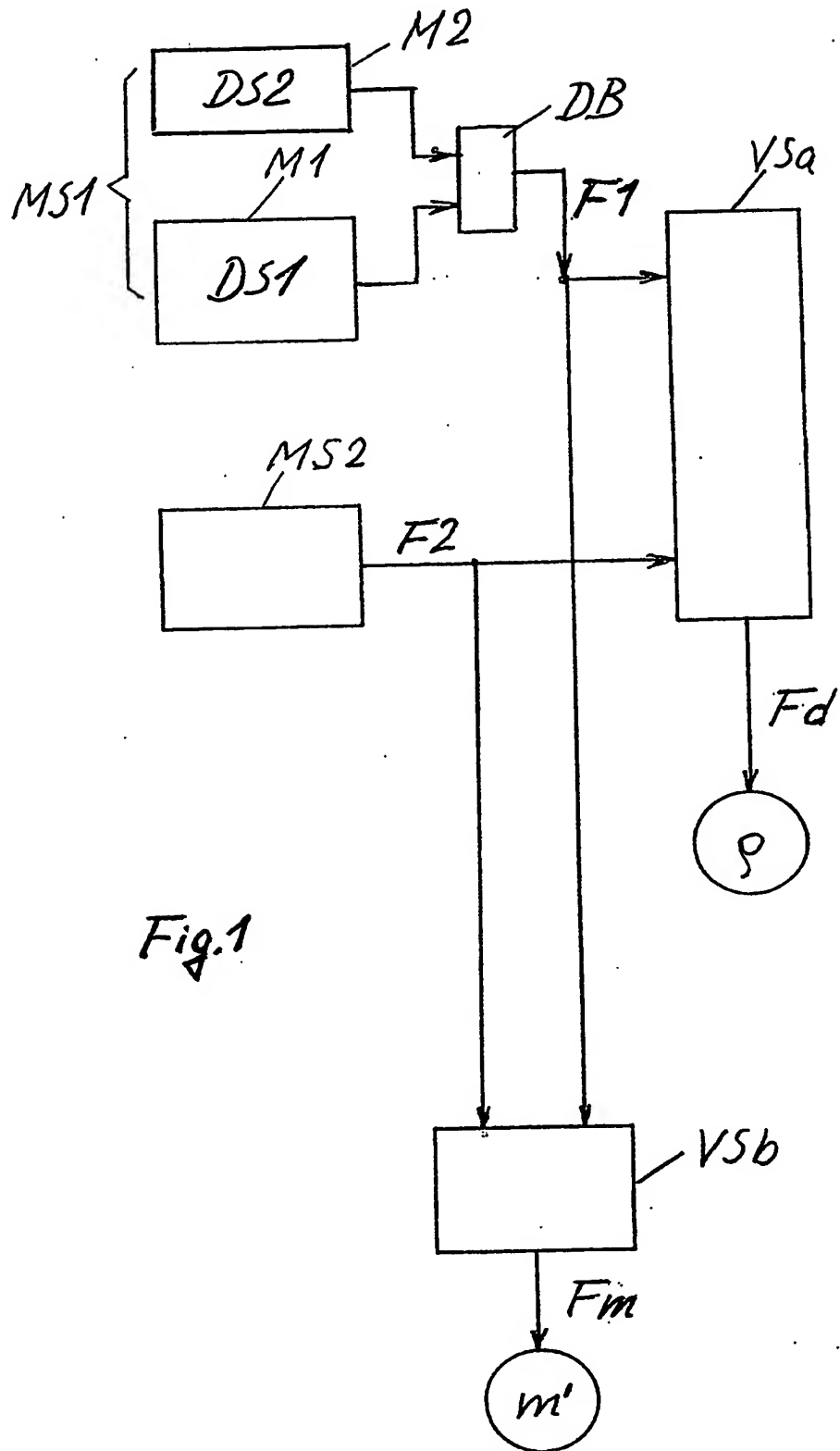


Fig.1

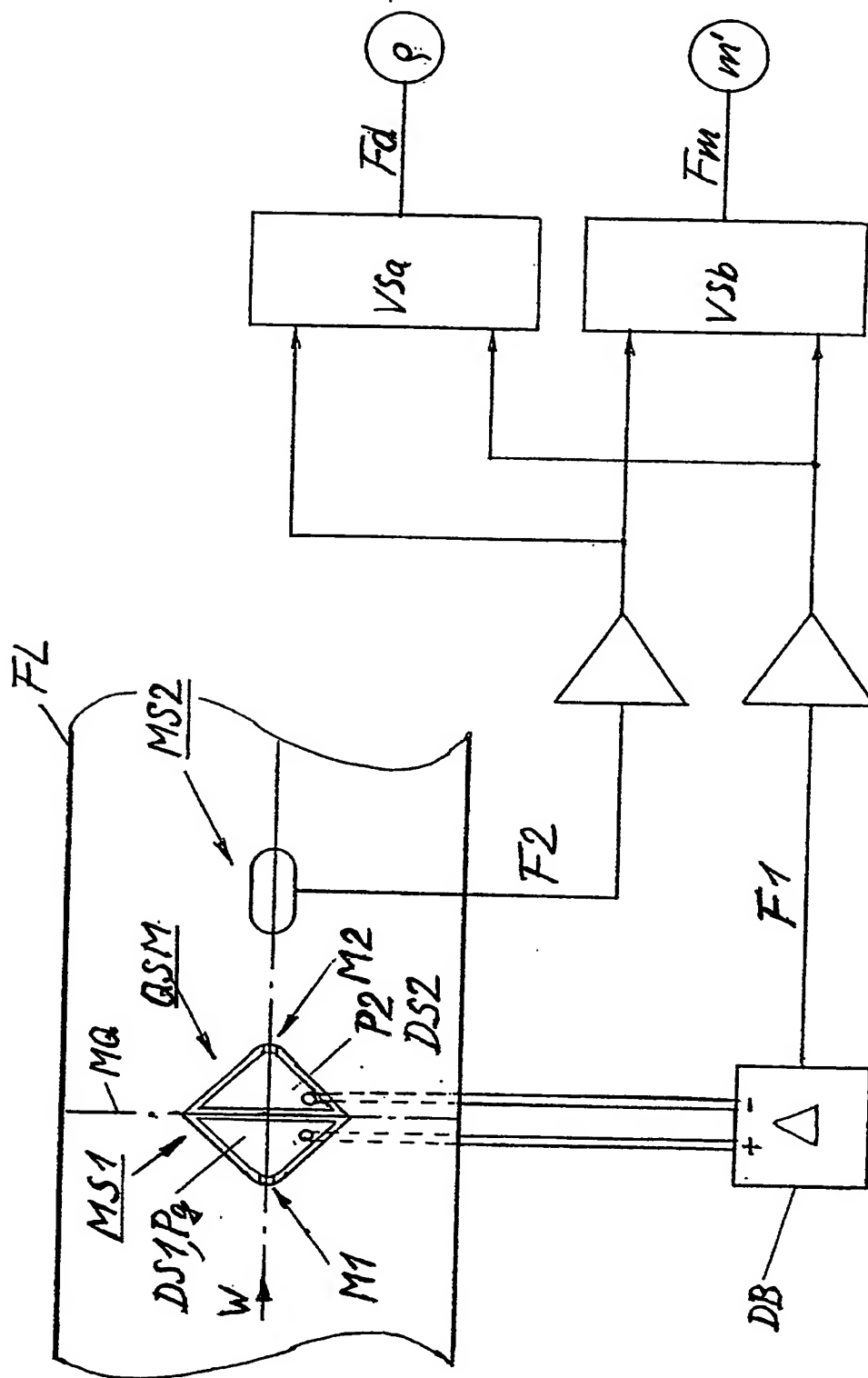
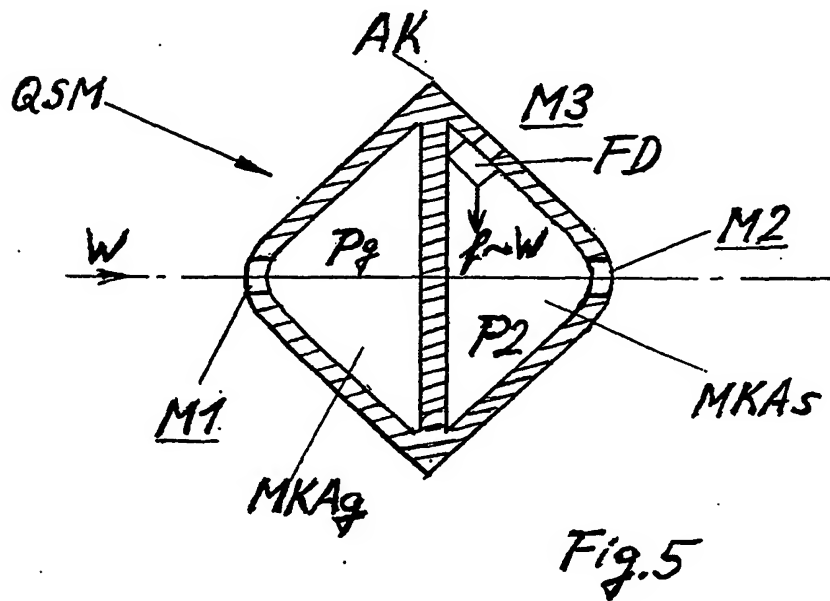
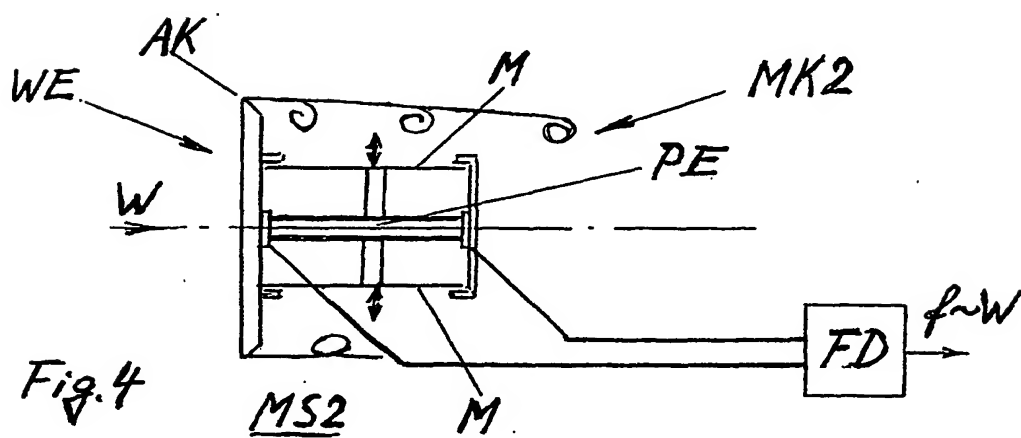
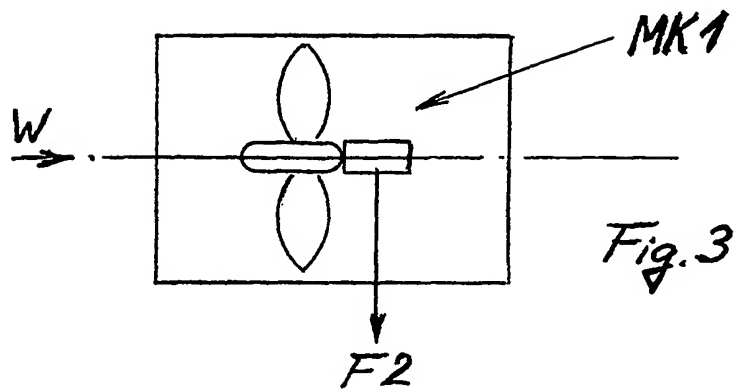


Fig. 2



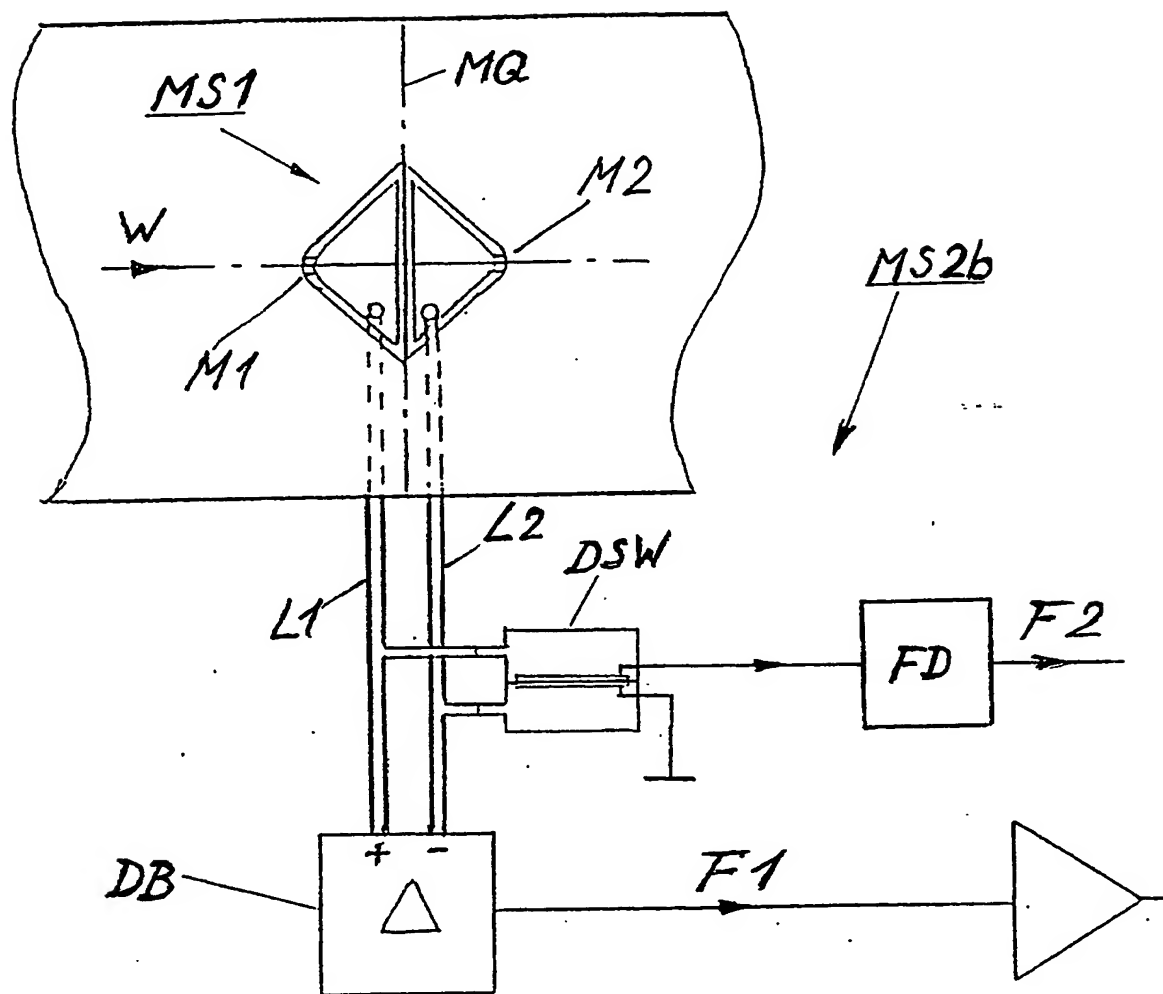


Fig. 6